

УДК 552.321.5, 6:553.08

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПЕРИДОТИТОВ И ГАББРОИДОВ КУЛИБИНСКОГО КОМПЛЕКСА (СЕВЕРО-ЗАПАД ВОСТОЧНОГО САЯНА)

А.Н. Юричев, А.И. Чернышов

Томский государственный университет

E-mail: juratur@sibmail.com

Исследованы особенности рудной минерализации перидотитов (лерцолитов, верлитов, вебстеритов) и габброидов (габбро, габбро-норитов) кулибинского комплекса Канской глыбы, расположенной в северо-западной части Восточного Саяна. Показаны типоморфизм, минеральный и химический состав минералов. Приведенные данные дают основание предполагать обнаружение в перидотитах комплекса сульфидного оруденения.

Ключевые слова:

Перидотиты, габброиды, рудная минерализация, хромшпинелид, пирротин, пентландит.

Key words:

Peridotites, gabbroides, ore mineralization, chromospinelide, pyrrhotite, pentlandite.

Введение

Ультрамафиты и мафиты пользуются значительным распространением в пределах Канской глыбы Восточного Саяна. Они картируются в виде многочисленных массивов, чаще небольших размеров, и привлекают внимание многих исследователей в связи с потенциальной рудоносностью [1, 2]. Однако их формационная принадлежность и металлогеническая специализация часто оказываются дискуссионными и требуют дальнейшего изучения.

Объектом настоящего исследования является потенциально рудоносный на Cu-Ni-Pt оруденение кулибинский перидотит-пироксенит-габбровый комплекс, изученный нами в пределах Канской глыбы на примере Кунгусского и Кулибинского массивов [3].

В настоящей статье предусматривается выявление особенностей состава рудных минералов и их эволюции в процессе формирования от перидотитов к габброидам.

Геологическая характеристика исследуемых объектов

Кунгусский массив. Расположен на южном склоне хребта Идарское Белогорье в истоках ручья Демидовский (правый приток р. Тукша) и р. Кунгусс. Массив размещен в крупном узле сложного пересечения зон разломов северо-западного, северо-восточного и широтного направлений. По этой причине массив имеет сложную конфигурацию. Площадь его составляет 3,4 км². Он залегает в толще амфиболитов, которые обособляются среди гнейсов, а с юга прорываются ордовикскими гранитами кутурчинского комплекса. Кунгусский массив имеет преимущественно габбровый состав (горнблендиты, роговообманковые габбро, габбро-нориты и нориты) при подчиненной роли ультрамафитов (лерцолиты, верлиты, роговообманковые клинопироксениты), которые известны в его краевых частях [3]. Однако контрастная аэромагнитная аномалия (8,4×2,4 км) на этой площади, очевидно,

свидетельствует о наличии линейного тела ультрамафитов, возможно, перекрытых габброидами (устное сообщение А.Н. Смагина, А.В. Ренжина, 2006 г.). На площади массива установлены локальные проявления никеля и золота с содержанием металлов до 0,5 % и 0,4 г/т соответственно, что, возможно, свидетельствует о его потенциальной рудоносности.

Кулибинский массив. Расположен в междуречье рек Кулижа и Пезо, вблизи их устьевой части. Массив представлен двумя обособленными телами, площадь которых составляет соответственно примерно 3 и 5,1 км². Интрузии залегают среди позднеархейских амфиболито-гнейсовых пород караганской серии. Петрографическое изучение пород позволило выделить в составе массива ультрамафиты (роговообманковые перидотиты, верлиты, роговообманковые вебстериты, пироксеновые горнблендиты) и габброиды (роговообманковые габбро-нориты и габбро) при подчиненной роли первых [3]. Аэромагнитной аномалией, перекрывающей его полностью, подтверждается наличие под ним мощной дунит-перидотитовой пластины (устное сообщение А.Н. Смагина, А.В. Ренжина, 2006 г.). Массив содержит минерализацию (Ni, Cu, Co), формирующую вторичные ореолы и потоки рассеяния аналогично Кингашскому массиву, но меньшей контрастности. Это, вероятно, объясняется слабым эрозионным срезом, т. е. практически полным отсутствием коренных выходов на поверхности ультрамафитов, которые обычно являются наиболее перспективными на обнаружение медно-никелевой минерализации.

Методика исследования

Для проведения рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом и получения качественных изображений в отраженных электронах (режим BSE) [4] из отобранных для исследования образцов пород с рудной минерализацией были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 5 мм по рекомендуемым методикам [4, 5].

Пластины горных пород являются диэлектриками и не проводят электрический ток, поэтому для отвода с поверхности электрического заряда, возникающего при электронной бомбардировке, перед проведением анализов их исследуемые поверхности напылялись углеродом. При напылении углеродного слоя (толщина слоя 30 нм) образцы помещались в вакуумную камеру с источником углеродного напыления.

Определение химического состава минералов и получение высококачественных фотографий осуществлялось на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II XMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с полупроводниковым Si (Li) детектором INCA x-sight) INCA Energy 450 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в Институте экспериментальной минералогии (ИЭМ) РАН (г. Москва). Расчеты составов проводились по программе INCA-Issue 18b с последующим пересчетом по программам, разработанным в ИЭМ РАН.

Рудная минерализация

Перидотиты. Изучение рудной минерализации проводилось в лерцолитах, верлитах и вебстеритах, наиболее перспективных на Pt-Cu-Ni минерализацию. Проведенные исследования позволяют объединить по химическому составу рудные минералы в два типа минерализации: магнетит-хромшпинелиевую и пирротин-пентландитовую.

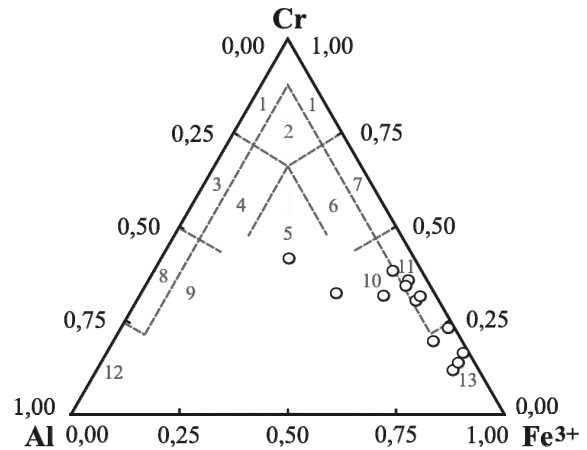


Рис. 1. Составы шпинелидов из перидотитов кулибинского комплекса на классификационной диаграмме Н.В. Павлова [6]: 1) хромит; 2) субферрихромит; 3) алюмохромит; 4) субферриалюмохромит; 5) ферриалюмохромит; 6) субалюмоферрихромит; 7) феррихромит; 8) хромпикотит; 9) субферрихромпикотит; 10) субалюмохроммагнетит; 11) хроммагнетит; 12) пикотит; 13) магнетит

Согласно классификации [6], в верлитах и лерцолитах кулибинского комплекса отмечаются преимущественно хроммагнетиты при незначительном присутствии ферриалюмохромитов, субалюмохроммагнетитов и магнетитов (единичные проявления); для вебстеритов характерен магнетит, рис. 1. Хромшпинели практически всегда образуют

Таблица 1. Химический состав шпинелей из перидотитов кулибинского комплекса (мас. %)

Образец	Порода	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Cu	O	Сумма
43.1-1	Лерцолит	–	–	0,36	–	5,97	0,32	67,88	0,55	0,13	–	–	23,03	98,24
sh43.2.0-7		2,12	7,47	0,48	–	20,52	0,57	37,60	0,23	0,28	–	–	29,01	98,30
sh43.2.0-8		0,76	1,81	0,82	–	17,37	0,56	52,05	0,47	0,22	–	–	26,14	100,20
sh43.1.2-13		0,12	0,36	0,19	–	7,98	0,84	65,97	0,23	–	–	–	23,75	99,43
sh43.1.2-14		0,00	0,45	0,16	–	11,04	1,12	61,51	0,39	0,39	–	–	24,16	99,22
sh43.1.2-15		0,77	1,08	0,86	–	16,63	1,97	52,11	–	–	–	–	26,54	99,97
sh43.1.0-25		0,62	1,49	0,37	–	16,25	0,58	54,46	0,33	0,37	–	–	25,63	100,12
905.2-3	Верлит	1,75	5,73	0,74	–	15,66	0,59	46,17	–	0,48	0,36	–	27,91	99,39
905.2-4		0,84	2,95	0,84	0,20	14,78	0,54	52,39	–	0,33	0,37	–	26,20	99,44
905.4-3		0,99	1,35	0,58	0,27	14,42	0,71	56,15	–	–	–	–	25,92	100,38
sh905.2-8		1,22	0,67	1,04	0,14	12,62	0,29	58,48	–	–	–	0,20	25,19	99,85
sh905.1.1-1		1,66	3,93	0,53	0,12	16,46	0,48	48,96	–	0,13	–	–	26,89	99,16
1155-3	Вебстерит	0,14	1,46	0,24	–	5,61	1,08	66,79	0,24	0,20	–	0,28	24,10	100,14
1155-6		–	1,60	0,79	–	9,21	1,38	61,12	0,34	0,19	–	–	24,60	99,22
1155-7		–	1,03	0,16	–	6,61	0,83	66,93	0,55	0,25	–	–	23,91	100,27

Примечание: Здесь и далее определение химического состава осуществлялось в Институте экспериментальной минералогии РАН (г. Москва) оператором А.Н. Некрасовым.

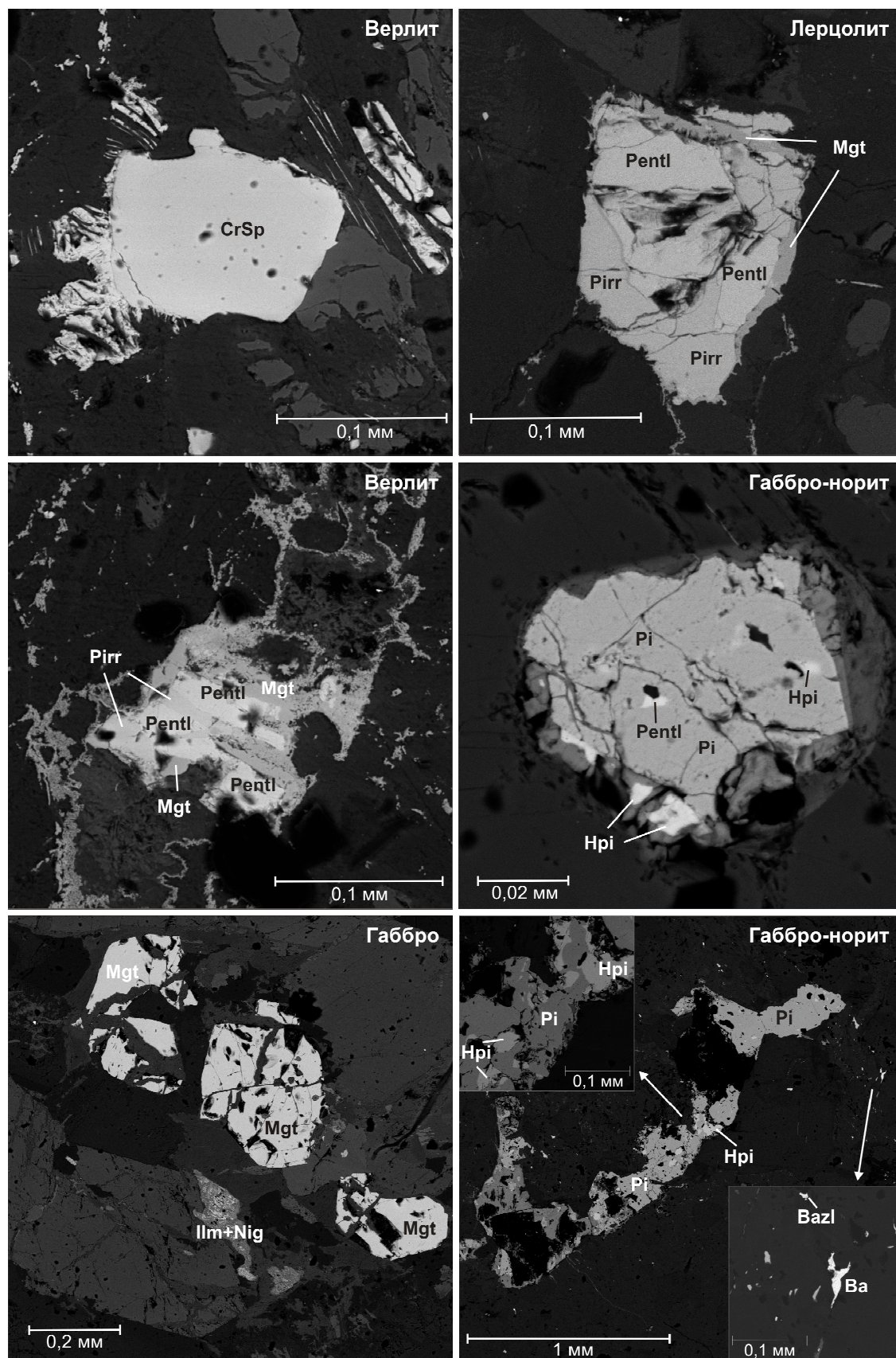


Рис. 2. Рудная минерализация перидотитов и габброидов кулибинского комплекса: CrSp – хромшпинель; Mgt – магнетит; Ilm – ильменит; Nig – нигрин; Pi – пирит; Hpi – халькопирит; Pirr – пирротин; Pentl – пентландит; Ba – барит; Bazl – целестиновый барит

Таблица 2. Химический состав магнетитов из перидотитов, минералов железо-титанистой окисной группы из габброидов кулибинского комплекса (мас. %)

Образец	Порода	Минерал	Ti	Fe	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	O	Сумма
sh43.1.1-6	Лерцолит	Mgt	–	76,84	–	–	0,11	–	–	–	–	–	22,65	99,60
sh905.1.2-5	Верлит	Mgt	–	71,73	–	–	0,52	0,31	–	–	–	–	28,19	100,75
sh905.1.2-6		Mgt	–	71,50	–	–	0,15	–	–	–	–	–	29,33	100,98
sh905.1.2-7		Mgt	–	70,89	–	–	0,73	0,65	–	–	–	–	28,01	100,28
sh920.2.1.1-1	Габбро	Mgt	–	75,64	0,44	0,13	0,33	0,22	–	–	0,23	–	22,47	99,46
sh920.2.1.1-11		Mgt	–	74,51	0,11	–	0,62	0,31	0,12	–	0,13	–	22,33	98,13
sh920.2.1.1-12		Mgt	–	75,28	0,36	–	0,38	0,12	0,10	0,43	–	0,47	22,54	99,69
sh920.3.1-1		Mgt	–	76,56	0,37	–	–	0,12	–	0,14	0,16	–	22,55	99,89
sh920.3.1-5		TiMgt	5,91	68,16	0,42	–	0,40	0,23	–	–	–	0,22	24,22	99,56
sh920.2.1.1-7		Ilm	30,77	35,93	0,19	0,25	–	–	–	–	–	–	32,39	99,53
sh920.2.1.1-9		Ilm	35,57	27,92	0,80	–	0,18	0,15	–	0,16	0,14	1,11	33,97	100,00
sh920.3.1-11		Ilm	28,37	38,45	0,33	–	0,43	–	0,18	–	0,18	1,56	30,76	100,26
sh920.2.1.1-10		Nig	49,67	8,94	0,64	–	0,22	0,11	–	–	–	0,57	39,84	100,00
sh920.3.1-6		Rut	57,27	0,80	0,65	–	–	–	–	–	0,27	1,96	39,62	100,57

Примечание: Mgt (TiMgt) – магнетит (титаномагнетит); Ilm – ильменит; Nig – нигрин; Rut – рутил. Присутствие в составе рудных минералов Sr и Ba обусловлено наложенной ультратонкой сульфатной минерализацией.

метакристаллы с высокой степенью идиоморфизма со средним размером 10...30 мкм (отдельные зерна до 0,15 мм). Цвет зерен в отраженном свете от бледно-серого до серого, рис. 2.

По химизму хромшпинели верлитов отличаются от таковых в лерцолитах отсутствием в их составе кобальта и появлением ванадия (0,12...0,27 %) и цинка (0,36...0,37 %), табл. 1.

Магнетит обычно образует отдельные каймы замещения вокруг зерен хромшпинелей и пирротин-пентландитовых выделений, рис. 2, реже – обособленные прямоугольные зерна размером до 0,1 мм. Спайность отсутствует. Отражательная способность магнетита умеренная, цвет – от светло-серого до синевато-серого. В большинстве случаев минерал изотропен. Однако часть зерен магнетитов обнаруживает отчетливую анизотропность при сохранении специфической формы зерен, что можно объяснить наличием в составе минерала «аномальных твердых растворов» [7].

В составе минерала отмечаются изоморфные включения кобальта и никеля (Co до 0,73 %, Ni до 0,65 %), табл. 2. В измененных перидотитах магнетит представлен, преимущественно, крайне тонкой вкрапленностью, образовавшейся в процессе серпентинизации зерен оливина. В последних минерал часто сегрегируется с образованием многочисленных ветвящихся жилок.

Сульфидная минерализация представлена каплевидными пирротин-пентландитовыми выделениями (структуры распада твердого расплава) размером до 0,2 мм, в основном приуроченных к интерстициям силикатных минералов в изученных породах, рис. 2.

Пирротин имеет светло-желтый цвет с коричнево-розовым, кремовым оттенком, отражательная способность высокая. Размеры зерен составляют от 0,01 до 0,1 мм. В целом, минерал в перидотитах исследованного комплекса отвечает по со-

ставу троилиту и характеризуется повышенными содержаниями железа, табл. 3. Темно-серые каемочки магнетита вокруг зерен пирротина являются продуктом окисления последнего.

В верлитах авторами работы выделяется никелистый пирротин, обусловленный присутствием в химическом составе минерала примеси кобальта и никеля в количестве первых процентов (Co≈2,77 %, Ni≈3,15 %), вероятно, за счет тонкодисперсных включений пентландита, табл. 3.

Пентландит, как отмечалось выше, широко распространен в виде округлых, пламевидных, веретенообразных включений распада внутри пирротина; реже – образует обособленные мелкие зерна округлой формы. Размеры его зерен не превышают 0,1 мм. Он хорошо диагностируется в аншлифах по высокой отражательной способности и бело-желтому цвету, в отличие от кремового пирротина. Минерал изотропен.

Отмечается, что наибольшей никелистостью обладают пентландиты из лерцолитов (Ni=29...30 %), табл. 3. В свою очередь, пентландиты из верлитов характеризуются более высокими содержаниями кобальта в виде изоморфной примеси к никелю (Co≈3,5 %).

Габброиды. Изучение рудной минерализации осуществлялось в главных разновидностях пород: габбро, габбро-норитах. В горнблендитах минерализация, доступная для изучения, не обнаружена.

Рудные минералы, выделенные в габброидах, по химическому составу были объединены в три группы: железо-титанистую окисную, сульфидную и сульфатную.

Железо-титанистая окисная минерализация представлена магнетитом, титаномагнетитом, ильменитом, рутилом и нигрином.

Магнетит и титаномагнетит (Ti до 6 %) чаще выполнены крупными (до 0,5 мм) хорошо образованными зернами с высокой степенью идиомор-

Таблица 3. Химический состав сульфидных минералов из перидотитов и габброидов кулибинского комплекса, мас. %

Образец	Порода	Минерал	S	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Сумма
sh43.2.0-9	Лерцолит	Pirr	35,59	64,39	–	0,49	–	–	–	100,47
sh43.1.0-1		Pirr	35,52	63,48	–	0,34	–	–	–	99,34
sh43.1.1-4		Pirr	35,53	63,69	–	–	–	0,22	–	99,43
sh43.3.1-1		Pirr	35,79	63,82	–	–	–	–	–	99,61
sh905.1.2-2	Верлит	Pirr	35,92	63,45	–	0,48	0,34	–	–	100,19
sh905.1.2-4		Pirr	36,44	62,65	–	0,79	0,20	–	–	100,08
sh905.1.2-9		NiPirr	36,37	57,87	–	2,77	3,15	–	–	100,16
sh43.2.0-10	Лерцолит	Pentl	32,09	35,74	–	1,93	29,74	–	–	99,51
sh43.1.0-2		Pentl	32,39	36,35	0,15	2,68	29,33	–	–	100,90
sh43.1.1-3		Pentl	32,03	36,21	0,10	2,84	29,52	–	–	100,69
sh43.1.1-5		Pentl	31,56	36,23	0,11	3,25	28,55	–	–	99,70
sh905.1.2-1	Верлит	Pentl	33,58	38,82	–	3,45	25,23	–	–	101,08
sh905.1.2-3		Pentl	33,17	37,72	–	3,39	26,08	–	–	100,36
sh905.1.2-8		Pentl	32,79	36,74	–	3,66	27,59	–	–	100,78
sh913.3.1.1-3	Г-норит	Pi	53,44	46,69	–	–	–	–	–	100,13
sh913.3.1.1-5		Pi	53,23	46,78	–	0,21	–	–	0,19	100,41
sh913.2.1.1-1		Pi	53,40	45,59	–	0,34	0,47	–	–	99,80
sh913.2.1.1-4		Pi	53,46	45,56	0,13	–	0,68	–	–	99,83
sh920.3.1-7	Габбро	Pi	52,81	46,87	–	–	0,30	–	0,17	100,15
sh913.3.1.1-1	Г-норит	Hpi	34,05	31,12	–	0,25	–	33,73	–	99,16
sh913.3.1.1-2		Hpi	33,79	31,77	–	0,19	–	33,07	–	98,82
sh913.3.1.1-4		Hpi	34,30	30,92	–	–	–	33,17	–	98,39
sh913.3.1.2-3		Hpi	33,06	31,57	–	–	–	33,84	–	98,47
sh913.3.1.2-5		Hpi	34,24	31,28	–	–	–	34,17	–	99,69
sh913.3.1.2-6		Hpi	34,72	31,21	–	–	–	34,25	–	100,19
sh913.2.1.1-3		Hpi	35,99	30,03	–	–	–	33,23	–	99,24
sh913.2.1.1-5		Hpi	35,53	30,78	–	0,21	0,12	32,75	–	99,39
sh913.2.1.1-6		Hpi	36,48	31,44	–	–	–	32,08	–	100,00
sh913.2.1.1-2		Pentl	34,60	27,64	–	0,33	37,34	–	–	99,91
sh913.2.1.1-9		Pentl	35,56	29,99	–	0,35	33,10	0,16	–	99,16

Примечание: г-норит – габбро-норит; Pirr (NiPirr) – пирротин (никелистый пирротин); Pentl – пентландит; Pi – пирит; Hpi – халькопирит.

физма, местами с выраженными гранями, рис. 2. Минерал сильно магнитный. Спайность, как таковая отсутствует, но в отдельных зернах тельца распада шпинели, расположенные параллельно (100), могут вызывать псевдоспайность. Отражательная способность магнетита умеренная, цвет серый с изменчивым слегка коричневатым оттенком. Высокое содержание титана в твердом растворе сказывается в появлении коричнево-розоватого оттенка, а примесь марганца делает цвет более тусклым и более серым.

Магнетитовые зерна нередко пронизываются прожилками амфибола, что позволяет предполагать их более раннюю магматическую природу.

Химические свойства минерала в габброидах подобны охарактеризованным выше магнетитам из перидотитов. Однако они отличаются более высокой железистостью и присутствием ванадия, цинка и меди (иногда до 0,5 %), табл. 2.

Ильменит выделяется серовато-белым со слабым коричневым оттенком цветом, отражательная способность умеренная. Встречается в зернах магнетита как продукт распада твердого раствора в виде линзочек, табличек размером 10...15 мкм, реже – образует дискретные, удлиненно-таблитчатые зерна размером до 80 мкм, рассеянные в основной матрице породы в непосредственной близости с минералами выделенной группы. Содержание титана в ильмените составляет 28,37...35,57 %, табл. 2.

В выделенном минеральном парагенезисе, помимо охарактеризованных минералов, встречается рутил ($Ti \approx 57\%$, $Fe \approx 0,8\%$) в виде аксессуарных шестоватых зерен с размерами до 30...40 мкм, часто имеющих идиоморфную форму. В проходящем свете минерал имеет высокий рельеф и темную зеленовато-бурю окраску. В отраженном свете относительный рельеф сходен или несколько меньше,

чем у пирита. Внутренние рефлексы очень светлые. Отражательная способность средняя, весьма сходная с магнетитом. Цвет светло-серый.

Разновидность рутила, богатая FeTiO_3 (в виде твердого раствора, $\text{Ti} \approx 50\%$, $\text{Fe} \approx 9\%$) отнесена авторами к нигрину, табл. 2.

В ильменитах и рутилах отмечается стронций и барий (Sr до $0,3\%$, Ba до 2%). Содержание последних элементов, вероятно, обусловлено наложившейся ультраотной сульфатной минерализацией.

Сульфидная минерализация в габбро и габбро-норитах представлена пиритом, халькопиритом и в незначительной степени пентландитом.

Пирит наряду с халькопиритом образует агрегаты метакристаллов с размером до 2 мм . В аншлифах минерал имеет светло-желтый, соломенно-желтый цвет и высокую отражательную способность. Рельеф неровный, бугристый, пузырчатый. Зерна часто корродированы, что позволяет судить об агрессивности метасоматической среды, в которой минерал перекристаллизовывался.

В некоторых образцах встречаются обособленные зерна пирита, очевидно, первичного магматического, с размером до 60 мкм , которые характеризуются идиоморфным обликом, рис. 2. В центральных частях таких пиритовых зерен нередко отмечаются пойкилитовые включения пентландита и халькопирита.

Халькопирит, в основном, отмечается в сливных скоплениях с пиритом. Размеры выделений до $90...100\text{ мкм}$. Окраска минерала желтая с побелостью (в отраженном свете). Зерна часто по периферии корродированы.

В халькопирите, в отличие от пирита, отсутствуют кобальт и никель, при этом в последнем их содержание составляет до $0,34$ и $0,68\%$, соответственно. Пентландиты, выделенные в габброидах, отличаются от таковых в перидотитах несколько меньшим содержанием кобальта ($\approx 0,35\%$), но более высоким – никеля ($33,0...37,5\%$), табл. 3.

Группа сульфатов представлена баритом ($\text{Ba} \approx 56...57\%$) и целестиновым баритом ($\text{Ba} \approx 53\%$, содержание Sr в виде изоморфной примеси возрастает до 3%), табл. 4. Минералы образуют тонкозернистые скопления неправильной формы размером до 50 мкм , рис. 2. Цвет сульфатов, большей частью, чисто белый. В виде изоморфных примесей в баритах и целестиновых баритах отмечаются кальций ($0,4...0,6\%$) и железо ($0,45...0,60\%$).

По А.Г. Бетехтину [8], минералы группы сульфатов в природе образуются различными путями, но лишь в условиях повышенного парциального

давления кислорода и при относительно низких температурах. Поэтому они, подобно всем другим безводным сульфатам, не встречаются как магматические минералы, а имеют постмагматическую гидротермальную природу.

Обсуждение результатов и выводы

По результатам нашего исследования сульфидная минерализация перидотитов представлена каплевидными пирротин-пентландитовыми включениями. Их образование, очевидно, происходило из сульфидного расплава, обогащенного железом, который в процессе ликвации, выделился из исходной высокомагнезиальной пикритовой магмы. Такой сульфидный расплав в условиях высоких температур растворяет весь содержащийся никель и является гомогенным. При понижении температуры из него происходит близкая по времени кристаллизация пирротина и пентландита, с образованием структур распада твердых растворов [7]. Данное предположение подтверждается анализом химических составов этих минералов. Повышенная железистость и малоникелистый состав пирротина указывает на его несколько более раннее начало кристаллизации по сравнению с пентландитом в условиях пониженной фугитивности серы и никеля в системе. При этом основная часть никеля постепенно концентрировалась и обособлялась в расплаве с последующей кристаллизацией высокожелезистого пентландита ($\text{Fe}/\text{Ni}=1,1...1,5$).

Такие особенности состава пирротин-пентландитовой сульфидной ассоциации свидетельствуют о высокой железистости рудно-магматической системы и обнаруживают сходство с сульфидной минерализацией Кингашского массива, расположенного в пределах Канской глыбы и включающего одноименное Pt-Cu-Ni месторождение [9]. Главные рудные минералы Кингашского массива – пирротин, пентландит и халькопирит, обычно распространенные в отношениях $(5...6):(4...5):1$ во вкрапленных рудах. В изученных перидотитах кулибинского комплекса это соотношение сохраняется. Отсутствие халькопирита, очевидно, указывает на дефицит меди в исходном сульфидном расплаве.

Состав сульфидной минерализации перидотитов кулибинского комплекса свидетельствует о ее кристаллизации из высокотемпературного сульфидного расплава в условиях быстрого охлаждения и без значительного его фракционирования в процессе высокой скорости транспортировки высокомагнезиальной пикритовой магмы из мантийного

Таблица 4. Химический состав сульфатных минералов из габброидов кулибинского комплекса (мас. %)

Образец	Порода	Минерал	Ti	Ca	Fe	Sr	Ba	S	O	Сумма
sh913.3.1.2-1	Г-норит	Ba	–	0,54	0,44	0,97	55,90	13,87	28,04	100,08
sh913.3.1.2-2	Г-норит	Ba	–	0,58	0,46	0,83	56,89	13,94	28,15	100,85
sh913.3.1.2-4	Г-норит	Bazl	–	0,41	0,45	2,90	52,39	14,50	29,10	99,75
sh920.1-9	Габбро	Bazl	0,64	0,52	0,59	2,26	52,97	13,95	29,04	99,97

Примечание: г-норит – габбро-норит; Ba – барит; Bazl – целестиновый барит.

очага в верхние этажи литосферы. Для сульфидных медно-никелевых руд наиболее распространена транспортно-гравитационная модель накопления сульфидов [10], согласно которой наибольшее накопление сульфидов происходит в результате опускания капель сульфидной жидкости из головы магматической колонны в придонные части магматической камеры и их сегрегации в структурных ловушках в результате гравитационной дифференциации. Таким образом, можно предполагать обогащение потенциального оруденения в нижних ультрамафитовых частях магматических тел, перекрытых габброидами, что косвенно подтверждается наличием аэромагнитных аномалий.

Пирит-халькопиритовая минерализация в габброидах в основном связана с эпигенетическим (метасоматическим) типом оруденения, что подтверждается их типоморфными особенностями. При этом образование сульфатных минералов происходило в условиях низкотемпературного гидротермального процесса.

Установленная акцессорная вкрапленность хромшпинелидов и железо-титанистых оксидов представляет исключительно петрологический интерес. В частности, данные по хромшпинелям могут быть использованы в геотермометрах при моделировании температур формирования пород комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов Юга Сибири / под ред. В.И. Богникова, А.П. Кривенко, А.Э. Исоха и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. — 151 с.
2. Кислов Е.В., Конников Э.Г. Рифейская эпоха платинометалло-медно-никелевого рудообразования // Проблемы геологии и геохимии юга Сибири: Матер. научн. конф. — Томск, 2000. — С. 67–72.
3. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Формационная типизация Кунгусского и Кулижинского мафит-ультрамафитовых массивов (СЗ Восточного Саяна) // Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 327. — С. 244–249.
4. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. — N.Y.: Cambridge University Press, 2005. — 189 p.
5. Taylor C.M., Radtke A.S. Preparation and polishing of ores and mill products for microscopic examination and electron microprobe analysis // Econ. Geol. — 1965. — № 65. — P. 1306–1319.
6. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геологического института РАН. — 1949. — Вып. 103. — 91 с.
7. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. — М.: Инстр. лит-ра, 1962. — 1132 с.
8. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. — М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1951. — 542 с.
9. Князев В.Н. Геология и условия образования благороднометалльного и медно-никелевого оруденения Канского зелено-каменного пояса (Восточный Саян): дис. ... к.г.-м.н. — Красноярск, 2004. — 145 с.
10. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. — СПб.: СПбГУ, 2003. — 487 с.

Поступила 01.03.2011 г.